

UNTERSUCHUNG DES WIDERSTANDS GEGEN LÄNGSVERSCHIEBUNG DER SCHIENENBEFESTIGUNGEN

Von

A. HORVÁTH

Lehrstuhl für Eisenbahnbau, Technische Universität Budapest
(Eingegangen am 27. Februar 1971)

Vorgelegt von Dozent Dr. E. KERKÁPOLY

Durch die Erhaltung der sowohl in Ungarn als auch in anderen Ländern seit Jahrzehnten allgemein verwendeten Klemmplatten-Schienenbefestigungen (in Ungarn mit GEO, in Deutschland mit K bezeichnet) werden im Betrieb der Ungarischen Staatseisenbahnen mehrere Probleme gestellt, für deren eindeutige und genaue Lösung eingehende theoretische Untersuchungen mit Labormessungen erforderlich sind.

Von der Generaldirektion der Ungarischen Staatseisenbahnen zur Klärung dieser Fragen aufgefordert, wurde 1970 am Lehrstuhl für Eisenbahnbau an der Technischen Universität Budapest ein Untersuchungsbericht erarbeitet. Bei der Forschungsarbeit wurde u. a. bestimmt, welchen Widerstand gegen Längsverschiebung und Verdrehung die normale Schienenbefestigung auf Hauptbahnen besitzen soll, und sich diese mit welcher Schraubenkraft gewährleisten läßt [1].

An der Forschungsarbeit am Lehrstuhl nahmen teil: Dozent Dr. Endre KERKÁPOLY, Lehrstuhlinhaber, Kandidat der techn. Wissenschaften, Dozent Dr. Jenő MEGYERI, Kandidat der techn. Wissenschaften, Oberassistent Dr. István SZATMÁRI, Praktikantin Izabella DOMSA. Die Forschungsarbeit wurde vom Oberassistenten Attila HORVÁTH, als Themenverantwortlicher, geleitet.

1. Theoretische Fragen des Reibungswiderstandes in Längsrichtung der Schienenbefestigung

Die Wichtigkeit des Längswiderstandes für die sichere Lage sowohl der herkömmlichen als auch der durchgehend geschweißten Gleise ist allgemein bekannt [4, 7, 9, 14, 16, 17, 18]. Der Längswiderstand wird durch die Schienenbefestigungsklemmwirkung entscheidend beeinflusst. Bei Vorhandensein einer geeigneten Klemmwirkung kann sich die Schiene unter achsialen Kraftwirkungen über der Unterlagsplatte nicht verschieben; mit der Schiene bewegt sich zwangsläufig auch die Querschwellen weiter, und damit wird der Längswiderstand eigentlich gleich dem Bettungswiderstand.

Ist die Klemmwirkung der Schienenbefestigung ungenügend und können sich unter großer Längskraftwirkung die Schienenstränge über den Schienen-

befestigungen verschieben, wird lediglich die Reibung in der Schienenbefestigung einen Widerstand darstellen. Das ist jedoch aus der Sicht der Verkehrssicherheit ungenügend, es soll nur auf die Kaltbrüche in den durchgehend geschweißten Gleisen in der kalten Jahreszeit hingewiesen werden.

Auch für traditionelle Gleise mit Laschenverbindungen stellt der Widerstand gegen Längsverschiebung der Schienenbefestigungen eine wichtige Forderung dar. Bei einem geringen Wert können sich in der warmen Jahreszeit unter gleichzeitiger Wirkung der Schienenwanderung und der Wärmedehnung die Fugen schließen, und es erfolgt eine Gleisverwerfung, oder öffnen sich die Schienenenden im Winter, wobei sich die Schäfte der Laschschrauben unter der Zugkraft verbiegen und abgeschoren werden.

Es läßt sich also feststellen, daß der Widerstand der Schienenbefestigungen gegen Längsbewegungen von grundlegender Bedeutung für deren Güte ist.

Im weiteren soll untersucht werden, durch welche Faktoren und in welchem Maße der Widerstand der Schienen gegen Längsverschiebung auf den Unterlagsplatten beeinflußt wird.

Bei der Klemmplatten-Befestigung wird der Schienenfuß von oben mit zwei Klemmplatten an die Unterlagsplatte geklemmt. Zwischen dem Schienenfußrand und der Rippe der Unterlagsplatte entsteht seitlich eine Fuge gewisser Größe, die der Walztoleranzen bei der Schienenfußbreite und dem Rippenabstand zuzuschreiben ist. So wird bei dieser Befestigungsart die Längskraft P von der Schiene auf die Schwelle durch die Unterfläche des Schienenfußes und die Unterlagsplattenfläche oder ein Zwischenstück einerseits und die Reibung der Klemmplatten am Oberteil des Schienenfußes anderseits übertragen.

Damit läßt sich feststellen, daß der Gleitwiderstand der Schiene (E_s) von den Reibungskoeffizienten (f_1 und f_2) und der Klemmkraft (V) der Befestigungsklemme abhängig ist:

$$E_s = f(V, f_1, f_2).$$

1.1. *Zusammenhang zwischen dem Schienenbefestigungswiderstand gegen Längsverschiebung und dem Bettungswiderstand*

Der erforderliche Widerstand der Schienenbefestigung gegen Schienenbewegungen in Längsrichtung wird im Fachschrifttum einheitlich durch die Ungleichung

$$E_s \geq \frac{E_a}{2}$$

bestimmt, wo

E_s den Schienenbefestigungswiderstand gegen Längsbewegungen,
 E_a den Bettungswiderstand der Schwelle gegen Achsialverschiebung
 (Abb. 1) bedeuten.

Für E_a wird im Fachschrifttum ein Höchstwert von 1,5 Mp angegeben
 (bei zusammengefrorener Bettung), damit ergibt sich [4, 9, 16, 19]

$$E_s \geq 750 \text{ kp.}$$

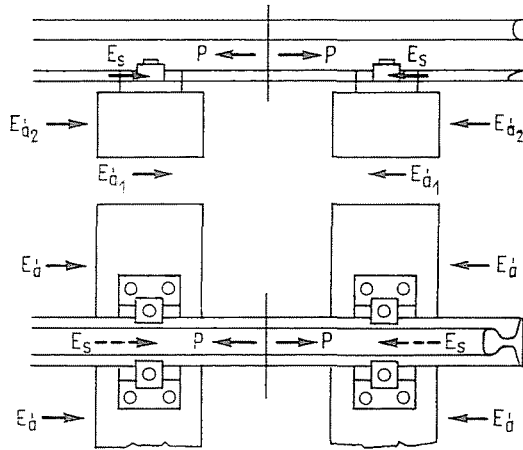


Abb. 1

1.2. Reibung, Reibungswiderstandskraft

Als Reibungskraft wird die Widerstandskraft bezeichnet, die zwischen aneinander angepreßten Flächen entsteht und deren relative Verschiebung verhindert. Diese Widerstandskraft ist von der Bewegkraft entgegengesetzter Richtung. In Abhängigkeit von der Größenordnung der Verschiebung und der diese herbeiführenden Kraft unterscheidet man Kräfte der Reibung der Bewegung, der unvollständig und der vollständig ruhenden Reibung.

Kinematisch wird von drei verschiedenen Arten der Reibung: der gleitenden, drehenden und rollenden Reibung, gesprochen.

Nach den Zustandskennwerten der Reibungsfläche und je nach Vorhandensein einer Schmierung unterscheidet man folgende Reibungszustände: reine Reibung, trockene Reibung, Grenzreibung, Flüssigkeitsreibung, halbtrockene Reibung und halbflüssige Reibung [10].

Beim Schienenbefestigungswiderstand gegen Längsverschiebung kommen zuerst die unvollkommene ruhende und die ruhende Reibungskraft, sodann die Reibungskraft der Bewegung zur Geltung. In diesem Falle liegt eine gleitende Reibung, u. zw. ein trockener bzw. Grenzreibungszustand vor.

Anfangs wurde angenommen, daß die Reibungskoeffizienten von beliebigen zwei aufeinander gleitenden Flächen gleich seien. Nach Leonardo da Vinci soll z. B. der Wert des Reibungskoeffizienten 0,25 betragen.

Ende des XVIII. Jahrhunderts wurde von Coulomb die Beziehung zwischen Druckkraft und Reibungskoeffizienten entdeckt, und damit war es nachgewiesen, daß der Reibungskoeffizient bei der Paarung verschiedener Stoffe unterschiedliche Werte aufweist.

Die Reibungsforschungen sind heute vor allem auf die Ermittlung der Einflußfaktoren des Reibungskoeffizienten und der Größe dieses Einflusses abgerichtet. Durch Tatsachen — wie z. B. der Umstand, daß bei Reibung von Stahl an Stahl der Reibungskoeffizient Werte zwischen 0,1 und 1 annehmen kann — wurde nämlich darauf hingewiesen, daß das früher für souverän gehaltene Coulombsche Reibungsgesetz nicht in jedem Falle gültig ist.

Die sich formende neue Theorie versucht, die Wirkung der den Reibungskoeffizienten beeinflussenden physikalischen Parameter und verschiedener Zustandskennwerte zu berücksichtigen und die früheren makrogeometrischen Beziehungen durch eine mikrogeometrische Anschauungsweise zu ergänzen. So führte u. a. die Erkenntnis, daß wegen der Oberflächenrauheit die Reibung nicht auf der Nennfläche erfolgt, sondern — fleckenweise — auf einer Fläche, die lediglich einen Bruchteil der Nennfläche darstellt, zur Trennung des Reibungskoeffizienten in ein Binom, mit dem sich die zweifache — mechanische und molekulare — Natur der Reibung berücksichtigen läßt.

Heute ist bereits auch bekannt, daß der Reibungsfaktor wesentlich beeinflusst wird durch [7, 8, 10]:

1. die Materialbeschaffenheit und den Zustand (Schmierung, Verunreinigung) der Reibungsfläche,
2. die Dauer der unbeweglichen Berührung,
3. die Geschwindigkeit der Belastung,
4. Starrheit bzw. Elastizität der Reibungsherde,
5. Gleitgeschwindigkeit,
6. Temperatur der Reibungsherde,
7. Druck,
8. Art der Berührung, Berührungsfläche und Überlappungsfaktoren,
9. Oberflächenbeschaffenheit und Rauheit der Oberfläche.

Es muß jedoch festgestellt werden, daß auch im internationalen Fachschrifttum keine durch Versuchswerte untermauerten, ausführlichen Ergebnisse zur Verfügung stehen, wo diese Faktoren berücksichtigt wären.

Nach dem aus dem Fachschrifttum bekannten elementaren Reibungsgesetz gilt für die Reibungskraft [10]:

$$T = S_{v_1} (z_1 + \beta_1 q_1) + S_{v_2} (z_2 + \beta_2 q_2) .$$

Hierbei bedeuten:

- S_{v_1} die effektive Berührungsfläche der molekularen Wechselwirkung,
- S_{v_2} die effektive Berührungsfläche der mechanischen Wechselwirkung,
- q_1 und q_2 den effektiven spezifischen Druck,
- z_1 den zusätzlichen Druck durch Molekularverbindung,
- β_1 den molekularen Rauigkeitskoeffizienten,
- z_2 die Schubfestigkeit in druckfreiem Zustand,
- β_2 den Proportionalitätsfaktor zwischen Druck und Schubfestigkeit,
- T die Reibungskraft.

Besteht zwischen den Bereichen der molekularen bzw. der mechanischen Wechselwirkung eine ständige Beziehung, d. h. gilt

$$S_{v_1} = S_{v_2}, \quad \text{und} \quad \text{damit } S_{v_1} + S_{v_2} = S_{v_2} (n + 1) = S_v$$

$$T = S_v (z + \beta q) = S_v z + \beta IN$$

wo

$$z = \frac{nz_1 + z_2}{n + 1} \quad \text{und} \quad \beta = \frac{n\beta_1 + \beta_2}{n + 1}$$

erhält man

$$f = \frac{zS_v}{N} + \beta.$$

Daraus ist zu erkennen, daß für die genaue Bestimmung des Reibungskoeffizienten zahlreiche, den mechanischen und physikalischen Charakter des Reibungspaares kennzeichnende Parameter ermittelt werden müssen. Dabei stellen die mangelhaft ausgearbeitete Theorie und die ungenügende meßtechnische Ausrüstung empfindliche Hindernisse dar. Auch die aus Versuchsergebnissen errechneten Reibungskoeffizienten geben nur eine anhaltswise Information und sind vielmehr zur Klärung der Größenordnung geeignet.

Anstelle der Bestimmung des Reibungskoeffizienten wurde von uns die versuchstechnische Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Klemmkraft und Schubkraft zum Ziele gesetzt.

1.3. *Widerstand der Schienenbefestigung gegen Schienenbewegungen in Längsrichtung*

Bei den Forschungen der letzten Jahrzehnte wird der Untersuchung des Widerstandes gegen Schienenwanderung eine große Bedeutung beigemessen. Zuerst soll das Verfahren von E. ENGEL beschrieben werden [7].

Im Bereich der kleinen Formänderungen sowohl zwischen Schienenfuß und Klemmplatte als auch zwischen Schienenfuß und Auflagerelement (Rippenplatte ohne oder mit Zwischenplatte) besteht eine Haftung, wobei sich die Schienenbefestigung elastisch verhält. (Die anfallende Kraft stellt eine nicht vollkommen ruhende bzw. ruhende Reibungskraft dar.) Wird die Schiene mit einer Kraft P um eine Länge u in Längsrichtung verschoben, so leisten alle Flächenteile df zwischen Schiene und Unterlage einen Schubwiderstand vu , während zwischen Klemmplatte und Schienenfuß ein Widerstand λu entsteht.

$$P = (v bh + \lambda) u = (v F + \lambda) u = r_1 u$$

wobei b und h die Breite bzw. die Länge der Abstützung.

F die Auflagefläche
bedeuten.

Es ist zu ersehen, daß im Haftbereich der Verschiebungswiderstand der Verschiebung proportional, und diese lediglich von r_1 abhängig ist. Damit ist im Adhäsionsbereich der Ver-

schiebungswiderstand von der Klemmkraft unabhängig und eine Funktion lediglich der für die betrachtete Schienenbefestigung kennzeichnenden Konstante ν_1 .

Erfolgt das Gleiten zwischen Klemmplatte und Schienenfuß früher als zwischen Schienenfuß und Schienenunterlage, nimmt die vorstehende Beziehung die Form

$$P = r b h u + f_1 V,$$

an, wo f_1 den Gleitreibungsbeiwert für Stahl an Stahl, V die Klemmkraft bedeuten.

Hört die Adhäsion auf, erfolgt das Gleiten. Die anfallende Kraft wird eine Reibungskraft bei Bewegung sein. Dabei entsteht ein ständiger Längsverschiebungswiderstand von

$$P = (f_1 + f_2) V.$$

wo f_2 der Gleitreibungsbeiwert zwischen Schienenfuß und Zwischenplatte ist.

In diesem Falle ist der Längswiderstand der Schienenbefestigung von der Klemmkraft linear abhängig.

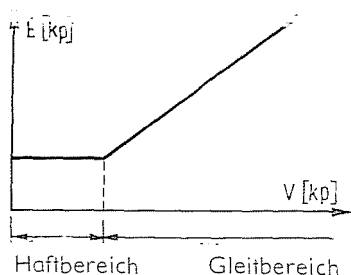


Abb. 2

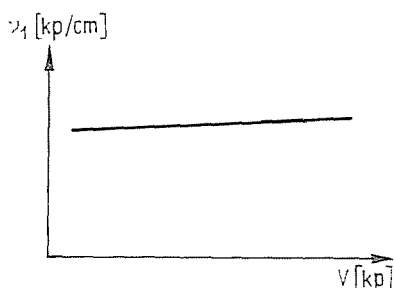


Abb. 3

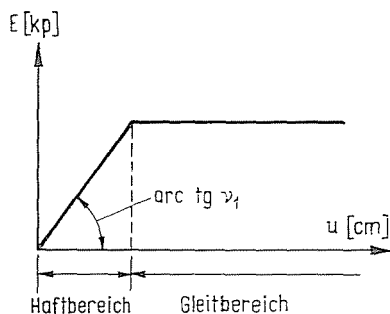


Abb. 4

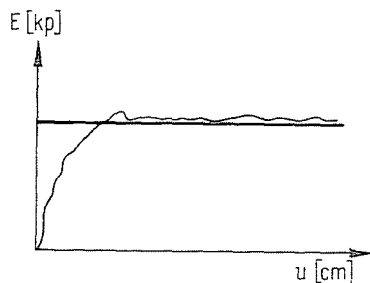


Abb. 5

In Abb. 2, 3 und 4 sind die Zusammenhänge zwischen Längswiderstand (E_s in [kp]) und Klemmkraft (V in [kp]), zwischen Längsverschiebungsmodul (ν_1 in [kp/cm]) und Klemmkraft sowie zwischen Verschiebungswiderstand und Verschiebung (u in [cm]) dargestellt.

Es ist noch die im Fachschrifttum [3, 4, 15, 19] oft behandelte, untenstehende Beziehung für die Längsverschiebung zu erwähnen.

Diese Auffassung weicht insofern von der vorstehenden Vorstellung ab, daß sie das Gleiten lediglich als Gleitreibung berücksichtigt und somit — durch eine Vereinfachung der Wirklichkeit — den Reibungswiderstand als konstant ansetzt (Abb. 5 und 6). Es sei hierzu bemerkt, daß man durch diese Vernachlässigung des Haftwiderstandes bei der Berechnung auf der sicheren Seite ist.

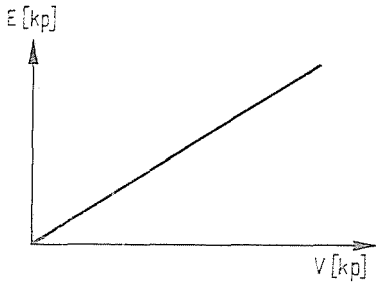


Abb. 6

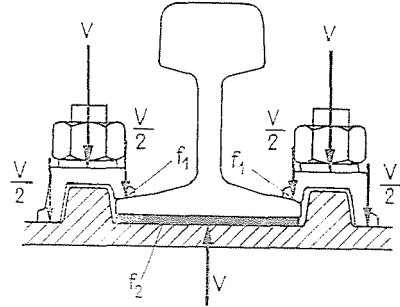


Abb. 7

Diese Beziehung läßt sich mit den Kurzbezeichnungen in Abb. 7 anschreiben:

$$E_s = \frac{V}{2} f_1 + \frac{V}{2} f_1 + V f_2 = V(f_1 + f_2)$$

Hierbei bedeuten:

E_s den Längswiderstand der ganzen Schienenbefestigung (in [kp]).

V die Klemmkraft einer Befestigungshakenschraube (in [kp]).

f_1 den Gleitreibungsbeiwert zwischen Klemmplatte und Schienenfuß.

f_2 den Gleitreibungsbeiwert zwischen Unterlagsplatte bzw. Zwischenplatte und Schienenfuß.

Wird E gemäß Punkt 1.1 mit dem Bettungswiderstandswert je Befestigung, d. h. zu $\frac{1500}{2}$ kp, angesetzt, läßt sich für die minimale Klemmkraft je Hakenschraube anschreiben:

$$V = \frac{E}{f_1 + f_2} = \frac{750}{f_1 + f_2}$$

Da dieser Zusammenhang den praktischen Anforderungen gerecht wird, soll er bei den weiteren Untersuchungen benutzt werden.

Es sei bemerkt, daß die aus der vorstehenden Beziehung ausgedrückte Schraubenklemmkraft V nicht mit der für die Bauausführung vorgeschriebenen Anziehkraft identisch sein kann, da bei der Bestimmung letzterer auch der Klemmkraftverlust durch Relaxation zu berücksichtigen ist. Die in der obigen Weise gedeutete Kraft V muß ihren Wert im Betrieb unbedingt behalten.

Wir möchten auch darauf hinweisen, daß neben der Relaxationswirkung (Federring, Zwischenplatte) auch mit dem Umstand zu rechnen ist, daß der Reibungswiderstand durch dynamische Wirkungen abnimmt. Dazu lassen ich in der Fachliteratur auch konkrete Werte finden [4, 7].

2. Laborversuche zur Ermittlung des Reibungswiderstandes in Längsrichtung der Schienenbefestigung GEO

Um den Zusammenhang zwischen dem Widerstand der Klemmplatten-Schienenbefestigung gegen Längsverschiebung und der Klemmschraubenspannkraft zu ermitteln, waren Labormessungen erforderlich, da die genauen Parameterwerte (f_1 und f_2) der theoretischen Beziehung nicht bekannt sind.

Bei den Versuchen wurde der Reibungswiderstand in Längsrichtung der Schienenbefestigung ohne Zwischenplatte bzw. unter Anwendung verschiedenartiger Zwischenplatten bestimmt. Bei den Versuchen benutzten wir auch die einschlägigen Erkenntnisse der Fachliteratur [1, 2, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 20].

2.1. Versuchsanordnung

Die schematische Darstellung der eingesetzten Meßvorrichtung ist in Abb. 8 zu sehen. Die Belastungsvorrichtung wurde aus zwei [—180 Profilen verschweißt und gehobelt und an diese wurden die Rippenplatten befestigt. Die erforderliche Schubkraft wurde mit Hilfe eines Schraubenschlüssels, über ein Dynamometer durch Drehen einer Feingewindeschraube auf die Schiene übertragen. Das Dynamometer war über zwei Rollen auf dem an das [—Profil geschweißten Bock gelagert.

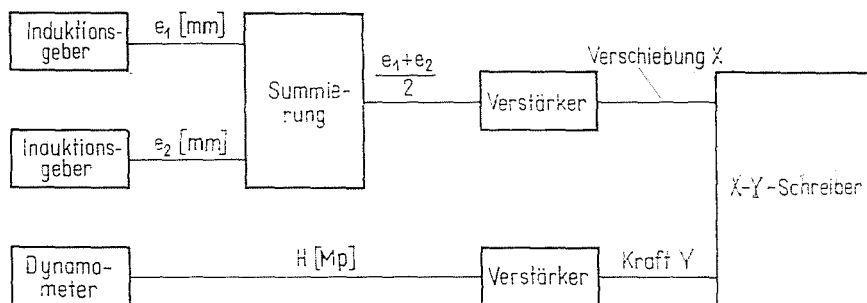


Abb. 8

Die Schubkraft wurde mit den auf einer Druckprüfmaschine geeichten Dynamometern gemessen. Die Dehnungen unter Belastungskraft in den Stielen des als Dynamometer benutzten Rahmens wurden mit Hilfe von entsprechend geschalteten Dehnungsmeßwiderständen (je zwei Dehnungsmeßstreifen in einem Winkel von 90°) gemessen.

Das der Schubkraft proportionale elektrische Signal wurde über einen Meßverstärker KWST-5 dem Koordinatenschreiber (y-Achse) zugeleitet.

Die gegenseitige Verschiebung von Schiene und Rippenplatte unter Kraftwirkung wurde durch zwei Induktionswegaufnehmer Typ W50 erfaßt und zum elektrischen Signal umgeformt. Es wurden nämlich zwei Verschie-

bungsmeßgeräte eingesetzt, um die Wirkung einer etwaigen Seitenbewegung der Schiene auszuschalten, und die zwei Verschiebungsmeßwerte wurden mit einer Summiervorrichtung SJ/2 gemittelt. Von dieser gelangte das elektrische Signal über den Meßverstärker zum Koordinatenschreiber (x -Achse).

2.2. Versuchsdurchführung

Im Rahmen der Versuchsreihe wurden die uns verfügbaren Zwischenplatten, mit Rippenplatten sowohl von 150 mm als auch von 110 mm Breite geprüft. Als Hakenschrauben dienten Schrauben der Größe M24, Qualität 5D. Diese wurden bei Momenten 15, 20 und 25 mkp angezogen.

Bei den Untersuchungen wurde das Bewegungskraft- (Längswiderstandskraft) -Verschiebungsdiagramm für zehn Zwischenplatten aus verschiedenen Werkstoffen und von verschiedener Qualität und selbstverständlich auch ohne Zwischenplatte ermittelt. Es wurden insgesamt 120 Messungen durchgeführt. (Die Ungarischen Staatsbahnen benützen z. Z. keine Zwischenplatten zwischen Schienenfuß und Rippenplatte.)

2.3. Versuchsergebnisse

Die Durchschnittsergebnisse der Versuche sind in Tafel 1 zusammengefaßt, wo Spalte *a* die Messungen mit 150 mm breiten Rippenplatten, Spalte *b* die Messungen mit 110 mm breiten Rippenplatten enthält.

Anhand der ausgeführten Messungen wurde Tafel 2 zusammengestellt, wo gemäß der letzten zwei Spalten aus Tafel 1 (also bei konstant gewordenem Widerstand) die Längswiderstände für verschiedenartige Zwischenplatten und unterschiedliche Spannkkräfte sowie — lediglich anhaltsweise — die aus der Beziehung $E_s = F(f_1 + f_2)$ errechneten Reibungskoeffizienten $f_1 + f_2$ angegeben sind.

Es soll bemerkt werden, daß

Anziehmoment 15 mkp einer Klemmkraft von 3,45 Mp,

Anziehmoment 20 mkp einer Klemmkraft von 4,60 Mp,

Anziehmoment 25 mkp einer Klemmkraft von 5,75 Mp entsprechen.

Es werden einige bei den Reibungswiderstandsmessungen in Längsrichtung aufgenommene, kennzeichnende Diagramme angeführt.

In Abb. 9 ist das Verschiebkraft-Verschiebungsdiagramm der an eine Rippenplatte von 150 mm Breite ohne Zwischenplatte mit Kräften von 3,45 Mp und 4,60 angeklemmten Schiene dargestellt. Auf die Ordinatenachse ist die Verschiebungskraft bzw. der gleichwertige Verschiebungswiderstand E_s über der Verschiebung u aufgetragen. Abb. 10 zeigt das Kraft-Weg-Diagramm der auf eine 150 mm breite Rippenplatte über ein bei den Ungarischen Staats-

Tafel 1

Ergebnisse der Versuche über den Verschiebungswiderstand bei
Rippenplatten von a) 150 mm Breite, b) 110 mm Breite

Werkstoff der Zwischenplatte unter dem Schienenfuß	Schrauben- anzugs- moment in [mkp]	Zur Schienenverschiebung erforderliche Kraft (in [Mp]) bei Verschiebungen von								Für die kontinuier- liche Schienen- verschiebung erforderliche Kraft in [Mp]	
		0,1 [mm]		0,2 [mm]		0,3 [mm]		0,4 [mm]			
		b	a	b	a	b	a	b	a	b	
keines	15	4,44	2,68	4,37	2,78	4,23	2,76	4,04	2,64	3,48	2,60
	20	5,26	3,24	5,20	3,40	5,16	3,41	5,11	3,41	4,50	3,31
	25	—	3,92	—	4,01	—	4,05	—	4,06	—	4,06
Pappelholzplatte Nr. 1, neu, MÁV*	15	3,02	3,28	3,08	3,38	3,14	3,42	3,20	3,43	3,67	3,43
	20	4,32	3,92	4,61	4,08	4,79	4,16	4,86	4,24	5,00	4,73
	25	4,88	5,13	5,14	5,48	5,26	5,62	5,35	5,69	5,74	5,74
Pappelholzplatte Nr. 2, neu, MÁV*	15	3,01	3,48	3,24	3,54	3,44	3,57	3,60	3,57	3,34	3,57
	20	4,41	4,71	4,50	4,76	4,59	4,77	4,66	4,77	5,15	4,61
	25	5,49	5,08	5,66	5,20	5,71	5,25	5,75	5,29	5,75	5,29
Pappelholzplatte Nr. 3, neu, MÁV*	15	2,91	3,55	3,26	3,64	3,44	3,64	3,48	3,62	3,65	3,37
	20	4,28	4,04	4,55	4,25	4,78	4,33	4,95	4,38	4,70	4,66
	25	5,35	4,71	5,75	4,92	5,89	5,03	5,95	5,10	5,84	5,25
Pappelholzplatte, neu, Deutsche Bundes- bahn	15	3,48	3,02	3,66	3,19	3,72	3,24	3,70	3,28	3,50	3,32
	20	4,22	3,62	4,58	4,00	4,70	4,18	4,78	4,25	4,83	4,45
	25	4,81	4,40	5,26	4,57	5,60	4,70	5,75	4,79	6,01	5,00
Polyäthylenplatte, neu, Budapester Unter- grundbahn	15	2,39	3,11	2,48	3,38	2,52	3,58	2,56	3,63	2,61	3,64
	20	2,25	4,27	2,84	4,64	3,20	4,75	3,38	4,84	3,82	5,10
	25	3,51	4,72	3,87	5,08	4,14	5,23	4,39	5,29	5,02	5,37
Polyäthylenplatte, gebraucht, MÁV*	15	3,28	3,19	3,84	3,32	4,11	3,35	4,25	3,35	3,50	3,12
	20	4,38	3,53	4,89	4,00	4,99	4,26	5,03	4,32	4,60	4,15
	25	4,95	4,45	5,70	4,70	5,86	4,86	5,96	4,98	5,60	5,13
Gummiplatte, glatt, neu, Budapest Untergrundbahn	15	2,21	1,66	2,43	1,88	2,53	2,02	2,56	2,12	2,56	2,38
	20	2,96	2,52	3,10	2,88	3,18	3,14	3,20	3,23	3,20	3,56
	25	2,72	2,66	3,17	3,14	3,62	3,42	3,74	3,65	3,56	3,66
Gummiplatte mit Längsrippen, gebraucht, MÁV*	15	2,51	2,34	2,90	2,55	3,11	2,70	3,28	2,82	4,35	4,00
	20	3,32	2,79	3,55	3,00	3,73	3,15	3,91	3,25	4,94	5,02
	25	4,13	3,02	4,28	3,24	4,46	3,37	4,83	3,49	5,45	5,38
Gummiplatte mit Querrippen, gebraucht, MÁV*	15	1,98	1,06	2,22	1,42	2,39	1,64	2,55	1,94	4,36	3,50
	20	2,34	2,20	2,76	2,68	2,99	3,00	3,21	3,13	4,83	4,30
	25	2,44	2,40	2,97	3,03	3,27	3,24	3,42	3,43	5,01	5,30
Gummiplatte, neu, ČSD**	15	2,28	1,73	2,53	2,00	2,67	2,30	2,78	2,58	3,00	3,86
	20	2,72	2,06	3,17	2,39	3,56	2,70	3,86	2,98	4,75	4,27
	25	2,86	3,06	3,45	3,34	3,86	3,54	4,19	3,71	5,35	5,26

* MÁV = Ungarische Staatseisenbahnen.

** ČSD = Tschechoslowakische Staatseisenbahnen.

eisenbahnen verwendeter Polyäthylen-Zwischenplatte in gebrauchtem Zustand mit Krafteinsätzen von 3,45 Mp, 4,60 Mp und 5,75 Mp angeklebten Schiene.

In Abb. 11 ist das Verschiebungswiderstand-Verschiebung-Diagramm der auf einer 150 mm breiten Rippenplatte liegenden und an eine bei der Deutschen Bundesbahn gebräuchliche, neue Pappelholz-Zwischenplatte mit Krafteinsätzen von 3,45 Mp, 4,60 Mp und 5,75 Mp angeklebten Schiene zu sehen.

In Abb. 12 ist das Kraft-Weg-Diagramm der bei der Budapester Untergrundbahn verwendeten, auf einer neuen, glatten Gummi-Zwischenplatte aufliegenden, mit Kräften von 3,45 Mp, 4,60 Mp und 5,75 Mp niedergehaltenen Schiene dargestellt.

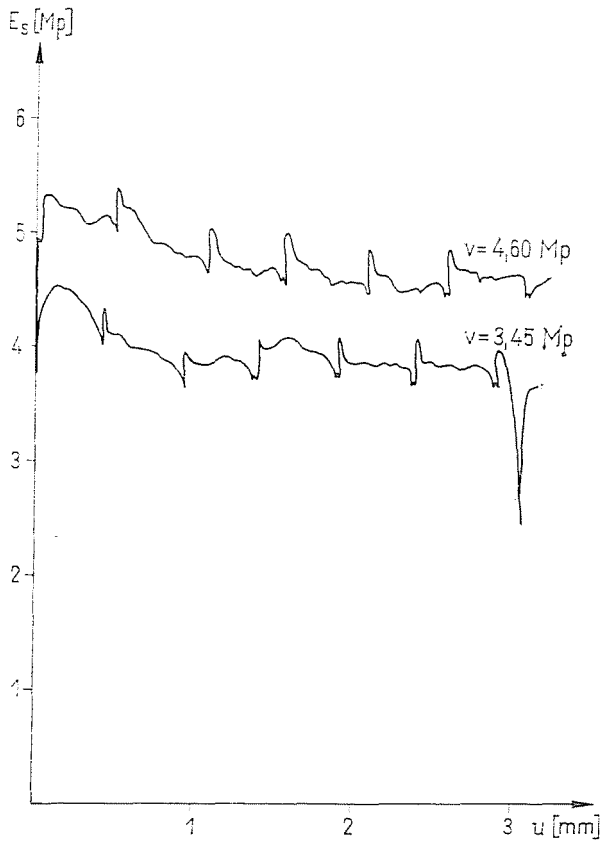


Abb. 9

Abb. 13 zeigt das Kraft-Weg-Diagramm einer Schiene auf einer 110 mm breiten Rippenplatte, die mit Kräften von 3,45 Mp, 4,60 Mp und 5,75 Mp an eine der Strecke der Ungarischen Staatseisenbahnen entnommene, gebrauchte Querrippen-Gummizwischenplatte angeklemt ist.

Tafel 2

Längswiderstandswerte (E_s) der Schienenbefestigung bei

Werkstoff der Zwischenplatte unter dem Schienenfuß	Bei Klemmkraft $F = 3,45$ [Mp]			
	Längswiderstand E_s in [Mp]		$f_1 + f_2$	
	a	b	a	b
keines	3,48	2,60	1,01	0,75
Pappelholzplatte Nr. 1. neu, MÁV*	3,67	3,43	1,06	1,00
Pappelholzplatte Nr. 2. neu, MÁV*	3,34	3,57	0,97	1,03
Pappelholzplatte Nr. 3. neu, MÁV*	3,65	3,37	1,06	0,98
Pappelholzplatte, Deutsche Bundesbahn. neu	3,50	3,32	1,01	0,96
Polyäthylenplatte, Budapester Untergrundbahn, neu	2,61	3,64	0,76	1,05
Polyäthylenplatte, MÁV,* gebraucht	3,51	3,10	1,01	0,96
Gummiplatte, glatt, Budapester Untergrundbahn, neu	2,56	2,38	0,75	0,69
Gummiplatte mit Längsrippen, MÁV.* gebraucht	4,35	4,00	1,26	1,16
Gummiplatte mit Querrrippen, MÁV.* gebraucht	4,36	3,90	1,26	1,13
Gummiplatte, ČSD,** neu	3,00	3,86	0,87	1,12

* MÁV = Ungarische Staatseisenbahnen.

** ČSD = Tschechoslowakische Staatseisenbahnen.

3. Die bei dem für die Klemmplatten-Schienenbefestigung erforderlichen Längswiderstand notwendige und auf die Einzelbefestigungsklemme bezogene (minimale) Klemmkraft

Anhand der Ergebnisse des vorigen Punktes wurde Tafel 3 zusammengestellt. Die wichtigsten Fälle sind hier in fünf Gruppen eingeordnet (ohne Zwischenplatte, mit Pappelholz-Zwischenplatte, mit gerippter Gummi-Zwischenplatte, mit glatter Gummi-Zwischenplatte, mit Kunststoff-Zwischenplatte). Die erforderliche, auf die Einzelschraube bezogene, minimale Klemmkraft, die als Mittelwert aus den Meßergebnissen erhalten wurde, ist sowohl für die 150 mm breite als auch für die 110 mm breite Rippenplatte angegeben. Anhand der mitgeteilten Ergebnisse sind die unter Berücksichtigung der bei den Versuchen erhaltenen geringsten Widerstandswerte errechneten Klemmkräfte tabellarisch angegeben.

Es soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß die Ergebnisse als theoretische Werte zu betrachten sind, da — wie bereits gesagt — die für den Bau und die Erhaltung vorzuschreibenden Klemmkräfte lediglich unter Berücksichtigung der Relaxation und der dynamischen Wirkungen festgelegt werden können.

An die Werte in Tafel 3 ist nichts wesentliches hinzuzufügen, es soll lediglich darauf hingewiesen werden, daß bei den für die Gummi-Zwischen-

Rippenplatte von a) 150 mm Breite. b) 110 mm Breite

Bei Klemmkraft $V = 4,60$ [Mp]				Bei Klemmkraft $V = 5,75$ [Mp]			
Längswiderstand E_s in [Mp]		$f_1 + f_2$		Längswiderstand E_s in [Mp]		$f_1 + f_2$	
a	b	a	b	a	b	a	b
4,50	3,31	0,98	0,72	5,61	4,06	0,97	0,71
5,00	4,73	1,11	1,03	5,74	5,74	1,00	1,00
5,15	4,61	1,14	1,00	5,75	5,29	1,00	0,92
4,70	4,66	1,04	1,01	5,84	5,25	1,01	0,91
4,83	4,45	1,07	0,97	6,01	5,00	1,04	0,87
3,82	5,10	0,85	1,11	5,02	5,37	0,87	0,94
4,80	4,08	1,07	0,89	5,60	5,06	0,98	0,88
3,20	3,56	0,71	0,77	2,56	3,66	0,62	0,64
4,94	5,02	1,10	1,09	5,49	5,38	0,95	0,94
4,83	5,00	1,07	1,09	5,01	5,70	0,87	0,99
4,75	4,27	1,05	0,93	5,35	5,26	0,93	0,92

platte erhaltenen Werten der allgemein bekannte, geringe Abscherwiderstand des Gummis zu berücksichtigen ist (Abb. 12 und 13). Es entsteht nämlich zufolge der großen Scherverformung ohne gegenseitige Verschiebung von Gummi und Schienenfuß eine beträchtliche Schienenbewegung in Längsrichtung.

Von den obigen Überlegungen und Labormessungen ausgehend lassen sich folgende Feststellungen machen:

1. Die bei den Ungarischen Staatseisenbahnen je Schraube vorgeschriebene Klemmkraft (3500 kp) genügt, um die Schienenbewegungen in Längsrichtung zu verhindern.

2. Bei Schienenfuß und Rippenplatte ohne Zwischenplatte, bzw. Pappelholz-Zwischenplatte mit normaler Oberflächenbeschaffenheit und in trockenem Zustand genügt unter Anwendung einer Rippenplatte von 150 mm Breite eine ständig vorhandene Klemmkraft je Schraube von 1000 kp, um die gemeinsame Längsverschiebung von Schiene und Schwelle zu gewährleisten.

3. Bei Schienenfuß und Gummi- oder Kunststoff-Zwischenplatte mit normaler Oberflächenbeschaffenheit und in trockenem Zustand genügt unter Anwendung einer Rippenplatte von 150 mm Breite eine ständige Klemmkraft von 1400 kp je Schraube, um die gemeinsame Längsverschiebung von Schiene und Schwelle zu gewährleisten.

4. Bei Schienenfuß und Rippenplatte bzw. Pappelholzplatte mit normaler Oberflächenbeschaffenheit und in trockenem Zustand genügt unter

Anwendung einer 110 mm breiten Rippenplatte eine ständige Klemmkraft von 1200 kp je Schraube, um die gemeinsame Längsverschiebung von Schiene und Schwelle zu gewährleisten.

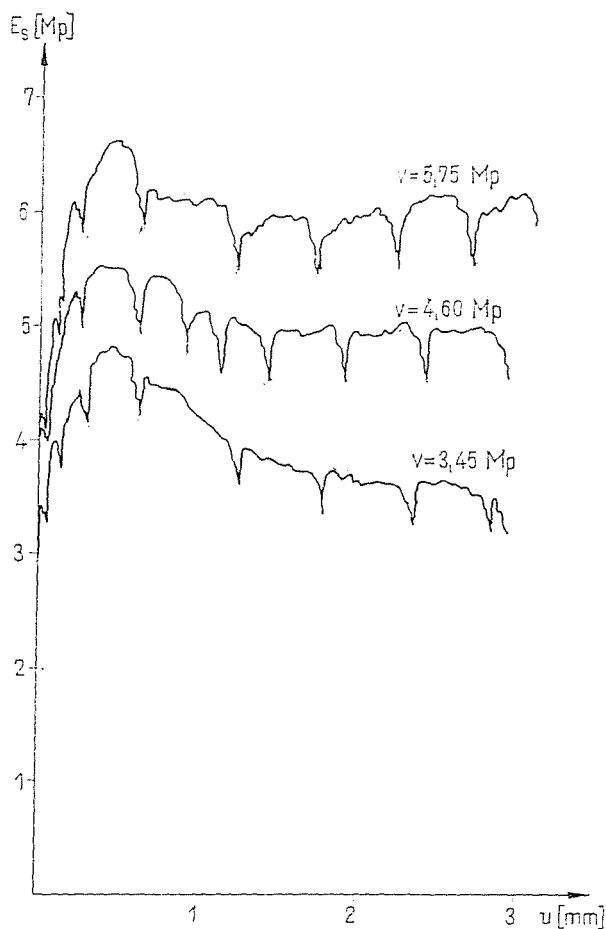


Abb. 10

5. Bei Schienenfuß und Gummi- oder Kunststoff-Zwischenplatte von normaler Oberflächenbeschaffenheit und in trockenem Zustand genügt unter Anwendung einer Rippenplatte von 110 mm Breite eine ständige Klemmkraft von 1400 kp je Schraube, um die gemeinsame Längsbewegung von Schiene und Schwelle zu gewährleisten.

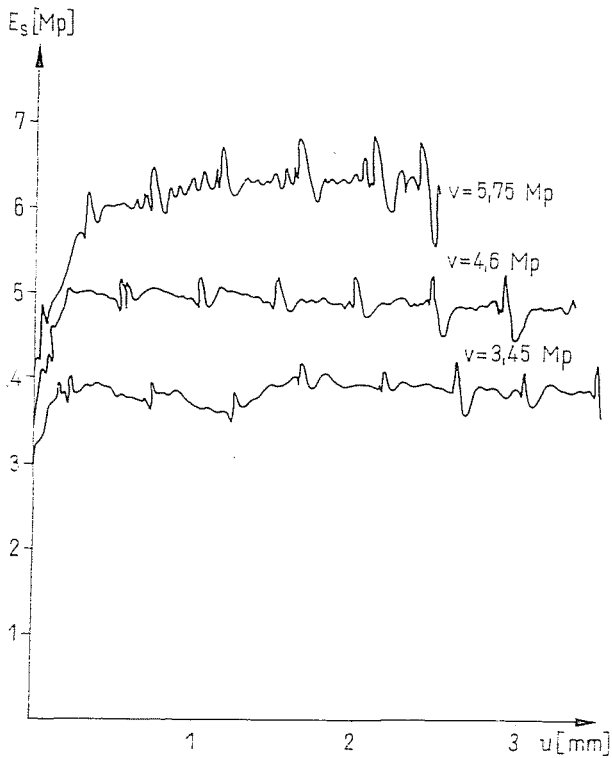


Abb. 11

Tafel 3

Klemmkraftwerte. a) Durchschnittswerte,
b) Rechenwerte aus Versuchswerten des Mindestwiderstandes in Längsrichtung

Werkstoff der Zwischenplatte unter dem Schienenfuß	Erforderliche mittlere Klemmkraft je Schraube (U in [kp]) nach den Versuchsergebnissen			
	Rippenplatte Breite 150 mm		Rippenplatte Breite 110 mm	
	a	b	a	b
Keine Zwischenplatte	760	800	1030	1060
Pappelholz	720	780	770	860
Gummi-Rippenplatte	720	860	730	820
Glatte Gummiplatte	1070	1200	1070	1170
Kunststoffplatte	800	980	800	860

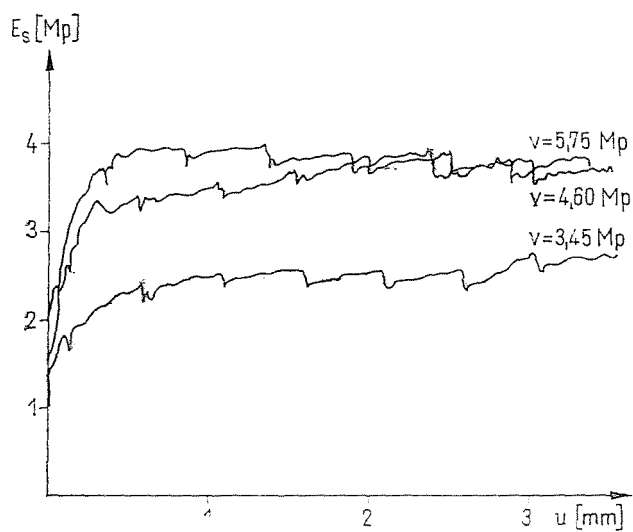


Abb. 12

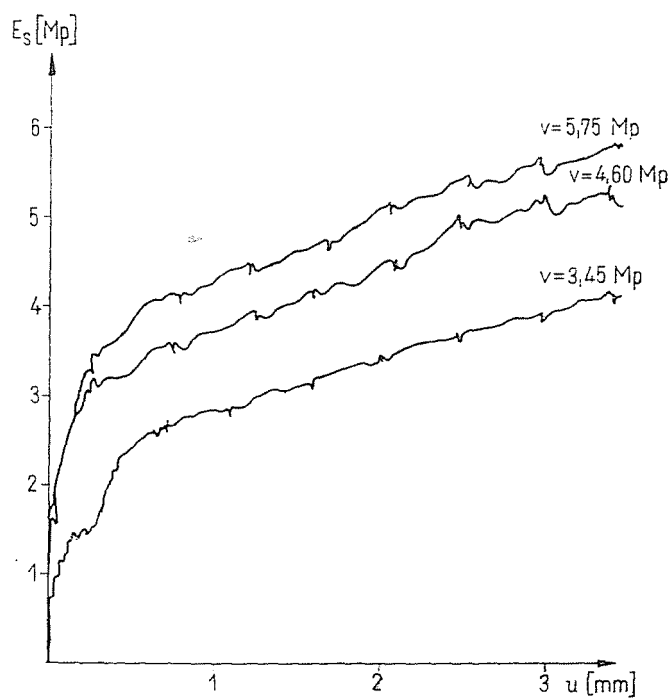


Abb. 13

Zusammenfassung

Im Aufsatz werden die Zusammenhänge zwischen dem Längsverschiebungswiderstand der auf den Hauptstrecken der Ungarischen Staatseisenbahnen (MÁV) verwendeten, normalen Schienenbefestigungen und der Klemmkraft untersucht.

In Abschnitt 1 werden die Zusammenhänge zwischen Längsverschiebungswiderstand der Schienenbefestigung und Bettungswiderstand sowie die Grundkenntnisse über die Reibung behandelt.

Abschnitt 2 beschreibt die durchgeführten Laborversuche und deren Ergebnisse. In Abschnitt 3 werden — für die untersuchten konkreten Fälle — die bei den erforderlichen Längswiderständen notwendigen Klemmkraftwerte einer Hakenschraube mitgeteilt.

Schrifttum

1. Prüfung der Bemessung der normalen Schienenbefestigungen auf den Hauptstrecken der Ungarischen Staatseisenbahnen.* Forschungsbericht. Lehrstuhl für Eisenbahnbau, Technische Universität Budapest, 1970.
2. Prüfung der auf der Ost-West-Strecke der Untergrundbahn eingebauten Schienenbefestigungen.* Forschungsbericht, Lehrstuhl für Eisenbahnbau, Technische Universität Budapest, 1968; 1969.
3. BODÓCS, G.: Entwurfsfragen der zeitgemäßen und wirtschaftlich ausführbaren Schienenbefestigungen für durchgehend geschweißte Gleise auf Betonschwellen.* Manuskript, 1968.
4. DOLL, A.: Die Schienenbefestigung bei der Deutschen Bundesbahn. ETR, Jan-Febr. 1965.
5. DOMSA, I.—RAJNAI, G.: Prüfung der Schienenbefestigungen.* Diplomarbeit 1970.
6. EISENMANN, I.: Oberbauforschung—Oberbautechnik. Verkehrsingenieur, Juli-Aug. 1956.
7. ENGEL, E.: Die Bedeutung der Schienenbefestigung für die Lagesicherheit lückenloser Eisenbahngleise. Glasers Annalen, Febr. 1961.
8. GALGÓCZY, G.: Neueste ungarische Ergebnisse bei der Untersuchung von Reibungsverbindungen mit Spannschrauben.* Mélyépítéstudományi Szemle 2 (1970).
9. Durchgehend geschweißte Bahnstrecken.* Red. B. VÁSÁRHELYI. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1960.
10. KRAGELSKI-VINOGRADOVA: Der Reibungskoeffizient.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
11. LENGYEL, L.: Untersuchung von Klemmwirkung und Reibungswiderstand verschiedener Schienenbefestigungen.* Jahrbuch des Wissenschaftlichen Forschungsinstituts für Eisenbahnbau, 1965.
12. LENGYEL, L.: Weitere Untersuchung von Reibungswiderstand und Klemmwirkung verschiedener Schienenbefestigungen.* Jahrbuch des Forschungsinstituts für Eisenbahnbau, 1966.
13. MEIER, H.: Experimentelle Oberbauforschung. Der Eisenbahningenieur, H. 7 (1957).
14. MEIER, H.: Das Sicherheitsproblem beim lückenlosen Gleis. Verkehr u. Technik 7—8 (1963).
15. NAGY, J.—UNYI, B.: Untersuchung der Gestaltung von ausländischen und ungarischen Schienenbefestigungen.* Studie. Verkehrswissenschaftliche Arbeitsgemeinschaft, Ungarische Akademie der Wissenschaften, 1966.
16. NEMESDY, E.: Der Eisenbahnoberbau. Eisenbahnbau Bd. II.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1966.
17. Forschungs- und Versuchsinstitut, Internationaler Eisenbahnverband (UIC) (ORE): Schienenbefestigungssysteme. D. 11, Utrecht 1957.
18. VÁSÁRHELYI, B.: Der Eisenbahnoberbau.* Közlekedési Kiadó, Budapest, 1953.
19. Betonschwellen.* Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1965.
20. UNYI, B.: Fachkundige Ausgestaltung der Schienenbefestigung GEO.* Vasút, März 1966.

Oberassistent Attila HORVÁTH, Budapest XI., Műgyetem rkp. 3, Ungarn

* In ungarischer Sprache.